

# Palmier à huile : mesures de la photosynthèse et de la respiration

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

**L**e carbone est le carburant de la vie végétale. Pendant la journée, les feuilles absorbent le gaz carbonique de l'air ; avec l'énergie lumineuse, les tissus chlorophylliens le transforment, par voie biochimique, en matière végétale : c'est la photosynthèse. La nuit (et aussi le jour), les feuilles respirent et dégagent du gaz carbonique. L'intensité de ces échanges gazeux est très significative de l'activité physiologique d'un peuplement végétal. Ainsi, au niveau de la plante entière, la production d'un agrosystème peut être reliée aux entrées et aux sorties de carbone. La mesure de la photosynthèse et de la respiration foliaire *in situ* apporte les quantifications nécessaires à ce bilan carboné (figure 1).

## La photosynthèse

Les agrophysiologistes savent mesurer avec précision, sur le terrain, la photosynthèse des cultures annuelles et pérennes avec un analyseur à infrarouge portable. Ce dernier donne instantanément la teneur en gaz carbonique d'un échantillon d'air prélevé dans une enceinte contenant le végétal étudié ou une partie de celui-ci.

Pour le palmier à huile, les agrophysiologistes du Cirad-CP<sup>(1)</sup> ont conduit d'importantes campagnes de mesures en Côte d'Ivoire, au Bénin et en Indonésie. Pour caractériser un croisement donné, l'échantillon comporte généralement huit arbres. Pour obtenir les valeurs maximales, les

mesures sont toujours effectuées sur la feuille de rang neuf.

### La méthode

La méthode dite de «système ouvert» consiste à enfermer une portion de foliole dans une enceinte (chambre d'assimilation) et à y faire circuler un débit constant d'air prélevé à l'extérieur (Dufrêne, 1989)<sup>(2)</sup>. En fin de circuit, avec l'analyseur on mesure précisément la baisse de concentration en gaz carbonique (photosynthèse) dans l'enceinte contenant la portion de végétal. Si la chambre d'assimilation possède des capteurs d'humidité et de température, on peut quantifier les échanges d'eau entre l'atmosphère et le végétal et connaître simultanément la transpiration de ce dernier.

### Le dispositif

Il comporte les appareils suivants (figure 2) placés en série près du palmier étudié :

- une canne de prélèvement de l'air entrant dans le circuit, placée à environ 10 m, où la concentration en gaz carbonique est stable ;
- une première cartouche de desséchant (facultative) permettant, dans les zones très humides le matin, de ne pas introduire, dans le circuit, un air déjà saturé en vapeur d'eau ;
- une pompe alimentée par pile (9-12 V) propulsant un débit régulier d'air dans le circuit ;
- un débitmètre à flotteur, placé avant la chambre d'assimilation, contrôlant à tout moment le débit d'air du système ;
- une chambre d'assimilation ou «pince» de type PLCN (*Parkinson leaf chamber for narrow material*, ADC)<sup>(3)</sup> contenant une portion de limbe. Ici la foliole ne remplit que la moitié de la chambre, car on exclut la nervure qui, très épaisse, occasionnerait des fuites d'air au niveau du joint de la chambre ;

- une indispensable deuxième cartouche de desséchant (perchlorate de magnésium) à la sortie de la chambre pour sécher complètement l'air avant son entrée dans l'analyseur et, ainsi, éviter l'entrée de vapeur d'eau dont le spectre d'absorption dans l'infrarouge recouvre partiellement celui du gaz carbonique ;
- l'analyseur IRGA (*Infrared gas analyser*) modèle LCA2 (*Leaf chamber analyser*) de ADC, qui est utilisé en mode absolu. L'air soufflé par la pompe extérieure pénètre dans l'analyseur avec un débit au moins égal à 200 ml/min. La lecture de la teneur en gaz carbonique en ppm de l'air provenant de la chambre d'assimilation est immédiate. L'air analysé est ensuite évacué par l'analyseur ;
- le tube de connexion pneumatique en caoutchouc inerte au gaz carbonique dont le diamètre est de 5 mm.

L'ensemble du dispositif est placé à l'abri du rayonnement, sauf la pince, bien sûr (photo).

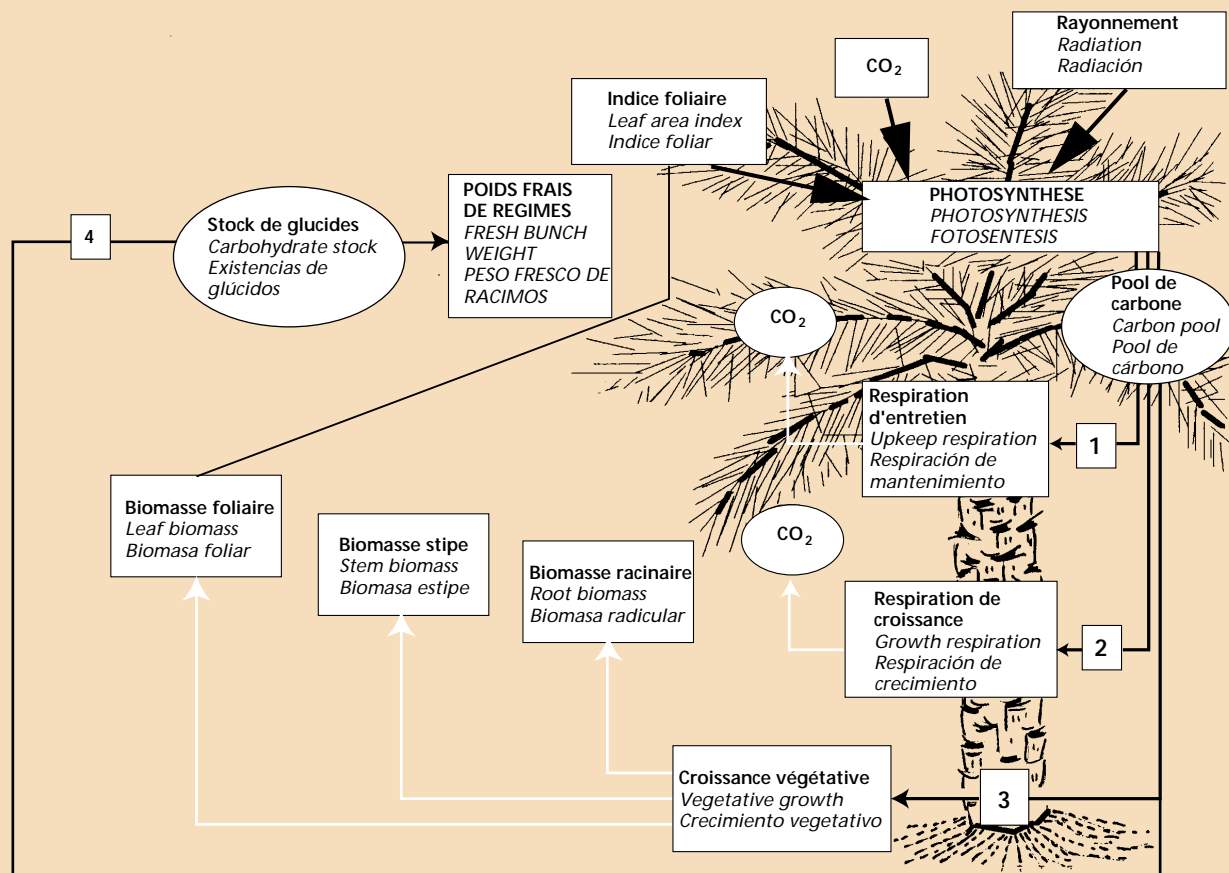
Pour la mesure de la photosynthèse, on stabilise le débit d'air dans le système entre 12 et 18 l/h, avant de lire les conditions initiales de teneur en gaz carbonique, d'humidité relative et de température. On place alors la portion de limbe étudiée dans la pince orientée perpendiculairement au rayonnement. On attend l'équilibre et on lit les nouvelles conditions de gaz carbonique, d'humidité et de température régnant dans la chambre d'assimilation en présence du végétal. On lit aussi la valeur de rayonnement incident sur la pince.

En comparant les conditions initiales et celles qui règnent en présence du limbe, on déduit, grâce à des formules de calcul appropriées, les valeurs instantanées de photosynthèse en micromoles de carbone, ainsi que la transpiration en millimoles d'eau par unité de surface foliaire et par seconde.

(1) Département des cultures pérennes du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

(2) Dufrêne E., 1989. Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Mesure des échanges gazeux. Thèse de Docteur en Sciences, spécialité écologie végétale, université Paris XI, Orsay, France, p. 33-39.

(3) *Analytical Development Company*.



**Figure 1.** Schéma simplifié de la circulation du carbone à l'échelle plante entière pour le palmier à huile. / Simplified diagram of carbon circulation at the plant scale in oil palm. / Esquema simplificado de la circulación del carbono en la palma aceitera entera.



**Photo.** Pince (PLCN 4) ou chambre d'assimilation en place en Indonésie (Indonesian Oil Palm Research Institute : IOPRI). / PLCN 4 clamp or assimilation chamber in use in Indonesia: IOPRI). Pinza (PLCN 4) o cámara de asimilación en el sitio mismo en Indonesia: IOPRI).

## La respiration

La respiration, indispensable à la survie et au développement du végétal, consomme du carbone. Lorsqu'on connaît le flux photosynthétique d'un peuplement culturel, les pertes respiratoires doivent être quantifiées pour permettre, une fois le bilan carboné effectué, d'estimer la quantité de carbone

éventuellement disponible pour le développement des fruits.

La mesure de la respiration foliaire pose le double problème de la faible intensité du flux de carbone (dix fois plus faible que celui de la photosynthèse) et celui du mélange de ce flux avec la photosynthèse en phase diurne. Les mesures s'effectuent préférentiellement la nuit. La méthode de mesure décrite a été récemment utilisée au

Bénin, puis en Indonésie. Elle présente l'avantage d'être simple, fiable et peu onéreuse.

On sélectionne les mêmes folioles que pour les mesures de photosynthèse.

## La méthode

Dans cette méthode de type «système semi-fermé», on place une foliole entière, toujours en place sur la palme, dans un cylindre en PVC<sup>(4)</sup> (gouttière) hermétique aux dimensions adéquates. Grâce à des prélèvements successifs d'air dans la chambre, on y suivra l'augmentation du gaz carbonique et on pourra ainsi évaluer la respiration instantanée de la foliole entière. La chambre est ventilée pour empêcher la stagnation du gaz carbonique plus lourd que l'air. On place à l'intérieur de l'enceinte un capteur de température (thermistance).

## Le dispositif

Ici, il n'y a pas de dispositif en série comme précédemment, car on prélève juste des échantillons dans la chambre, sans que l'air soit remis dans celle-ci après analyse. On ne peut donc faire beaucoup de prélève-

(4) Polychlorure de vinyle.

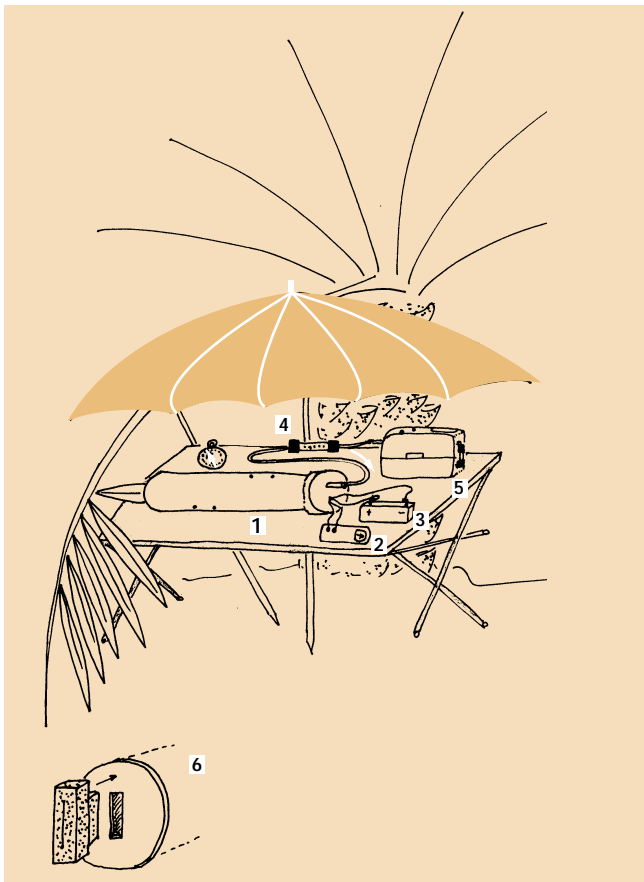


**Figure 2.** Schéma de montage pour les mesures de photosynthèse. / *Diagram of the equipment for leaf photosynthesis measurements.* / Esquema de montaje para las medidas de fotosíntesis foliar.

Système «ouvert» / «Open» system /

Sistema «abierto»

- 1 : canne de prélèvement / *sampling tube* / tubo de toma de muestra
- 2 : cartouche desséchante / *desiccator cartridge* / cartucho desecante
- 3 : pompe / *pump* / bomba
- 4 : débitmètre / *flow meter* / medidor de capacidad
- 5 : Chambre d'assimilation / *assimilation chamber* / cámara de asimilación
- 6 : cartouche desséchante / *desiccator cartridge* / cartucho desecante
- 7 : analyseur CO<sub>2</sub> / *CO<sub>2</sub> analyser* / Analizador CO<sub>2</sub>



**Figure 3.** Schéma de montage pour la mesure de respiration diurne et nocturne. / *Diagram of the equipment for daytime and nighttime leaf respiration measurements.* / Esquema de montaje para la medida de la respiración foliar diurna y nocturna.

Système «semi-fermé» /

«Semi-closed» system /

Sistema «semicerrado»

- 1 : chambre respiration / *respiration chamber* / cámara de respiración
- 2 : multimètre (t kΩ) / *multimeter* (t kΩ) / multimetro (t kΩ)
- 3 : batterie 12 Volts (ventilateur) / *12-volt battery (ventilator)* / batería 12 voltios (ventilador)
- 4 : cartouche desséchante / *desiccator cartridge* / cartucho desecante
- 5 : analyseur CO<sub>2</sub> / *CO<sub>2</sub> analyser* / analizador CO<sub>2</sub>
- 6 : procédé de mise en place de la foliole (polystyrène) / *leaflet insertion procedure (polystyrene)* / procedimiento de instalación del foliolo (poliestireno)

ments à la suite ; ils sont limités à trois. La quantité d'air prélevée est jugée négligeable par rapport au volume de la chambre. Il n'y a donc pas de phénomène de dépression dans l'enceinte pouvant intervenir sur le flux de gaz carbonique. Le dispositif comporte les éléments suivants (figure 3) :

- la chambre d'assimilation est adaptée spécifiquement aux folioles de palmier à huile. Réalisée à partir d'une descente de gouttière en PVC, l'enceinte est opaque aux rayonnements. Elle est munie de deux ventilateurs, d'une thermistance, ainsi que d'un tube de prélèvement d'air ;
- le multimètre permet de lire les signaux (en kohm) donnés par la thermistance intérieure de la chambre. On peut donc suivre l'évolution de la température durant la mesure de la respiration. Ce facteur est un des plus influents sur l'intensité du flux respiratoire ;
- une batterie rechargeable 12 V qui sert à alimenter les deux ventilateurs intérieurs ;
- une cartouche de desséchant, identique à celles décrites pour la mesure de la photosynthèse, est utilisée pour éviter

les interférences avec la vapeur d'eau lors de la mesure ;

- un chronomètre fiable, à aiguille ;
- l'analyseur de gaz carbonique employé pour la photosynthèse est aussi utilisé en mode absolu.

Lors de l'introduction de la foliole dans l'enceinte, à un temps de référence  $t_0$ , on fait une première lecture instantanée de la teneur en gaz carbonique de l'enceinte. Après environ 3 min ( $t_1$ ) on fait un nouveau prélèvement. La teneur en gaz carbonique, due à la respiration de la foliole, a augmenté. On en déduit, grâce à une formulation adaptée, le flux respiratoire de la foliole en nanomoles de gaz carbonique par unité de matière sèche et par seconde.

Le point technique le plus délicat de ce type de mesure est d'assurer l'étanchéité du

système sans endommager le matériel végétal étudié. On découpe dans du polystyrène un parallépipède muni d'une fente permettant l'introduction de la foliole. Cet élément s'adapte dans une petite ouverture réalisée sur une des faces de la gouttière. L'étanchéité totale s'obtient en colmatant le tout avec un mastic souple.

## Conclusion

Des transferts techniques ont déjà été réalisés au Bénin et en Indonésie. Ils nécessitent au minimum deux personnes.

Ces deux techniques de mesures, actuellement utilisées pour l'étude des échanges gazeux foliaires du palmier à huile, présentent l'immense avantage de pouvoir se faire sur le matériel en place, directement en

plantation. Il s'agit de méthodes rapides (une fois le dispositif installé, chaque mesure prend 2 à 3 min), fiables et, surtout, non destructives. Dans la perspective du développement des modèles de simulation de production reposant sur la connaissance du fonctionnement physiologique des cultures, ces techniques simples sont performantes et répondent parfaitement aux besoins accrus de données dans ce domaine.

Ces mesures peuvent aussi être envisagées, dès le stade pépinière, comme critères de sélection dans les programmes d'amélioration. Les chambres de mesure s'adaptent alors à la taille du matériel végétal, le principe des mesures et les instruments restant les mêmes. ■

# Oil palm: measuring photosynthesis and respiration

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

Carbon is the very essence of plant life. During the day, the leaves absorb carbon dioxide from the air; with the help of light, the chlorophyll tissues convert it into biomass, by various biochemical processes: this is known as photosynthesis. During the night (and also the day), the leaves respire and give off carbon dioxide. The intensity of these gas exchanges is a clear indicator of the physiological activity of a plant stand, and the productivity of an agrosystem can be linked to carbon inputs and outputs at the plant scale. Measuring photosynthesis and leaf respiration *in situ* quantifies this carbon balance (figure 1).

## Photosynthesis

Agrophysiologists can accurately measure photosynthesis in annual and perennial crops in the field using a portable infrared analyser, which gives an instantaneous reading of the carbon dioxide content of an air sample taken

from a chamber containing the plant or a part of it.

CIRAD-CP<sup>(1)</sup> agronomists have carried out extensive measurements on oil palm in Côte d'Ivoire, Benin and Indonesia. To characterize a given cross, the sample generally comprised eight palms, and to ensure maximum values, the measurements were taken on rank 9 leaves.

## Method

The so-called "open system" method consists in inserting a section of leaflet in an assimilation chamber and feeding in a constant flow of air from the outside (Dufrêne, 1989)<sup>(2)</sup>. The analyser connected up at the end of the circuit accurately measures the drop in carbon dioxide concentration (photosynthesis) in the chamber containing the leaflet sample. If the assimilation chamber is equipped with moisture and temperature sensors, water exchanges between the atmosphere and the plant can be measured and plant transpiration calculated.

## Equipment

The following equipment was used (figure 2), set up in series near the palm studied:

- a tube to sample the air entering the circuit, placed at a distance of around 10 m, where carbon dioxide concentration is stable;
- an initial desiccator cartridge (optional) to avoid introducing vapour-saturated air into

the system in zones that are very damp in the morning;

- a battery-operated pump (9-12 V) to pump a constant amount of air into the circuit;
- a flow meter with a float, fitted before the assimilation chamber, to monitor the air flow at all times;
- an assimilation chamber or "clamp" (ADC<sup>(3)</sup> Parkinson Leaf Chamber for Narrow material - PLCN) containing a section of lamina. The leaflet fills only half of the chamber, as the very thick midrib, which would cause air leaks through the chamber seal, is removed;
- a second, essential desiccator cartridge (magnesium perchlorate) on the chamber outlet, to dry the air completely before it enters the analyser and prevent the introduction of water vapour, whose infrared absorption spectrum partly overlaps that of carbon dioxide;
- an ADC IRGA (Infrared Gas Analyser), LCA2 (Leaf Chamber Analyser) model, used in absolute mode. The air is pumped into the analyser at a flow rate of at least 200 ml/min. The carbon dioxide content in ppm of the air from the assimilation chamber can be read off immediately. The air analysed is then expelled from the analyser;
- a carbon dioxide-inert rubber pneumatic connecting tube with a diameter of 5 mm.

(1) Tree crops Department of the *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*.

(2) Dufrêne E., 1989. Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Mesure des échanges gazeux. Thèse de Docteur en Sciences, spécialité écologie végétale, université Paris XI, Orsay, France, p. 33-39.

(3) Analytical Development Company.

All the equipment is placed out of direct sunlight, except (of course) the clamp (photo).

To measure photosynthesis, the air flow into the system is stabilized at between 12 and 18 l/h, before reading off the initial carbon dioxide content, relative humidity and temperature values. The lamina sample is then placed in the clamp, perpendicular to the sunlight. Once an equilibrium is reached, the new carbon dioxide, relative humidity and temperature values in the assimilation chamber containing the plant are read off. The incident radiation shining on the clamp is also recorded.

By comparing the initial conditions with those once the lamina is inserted, appropriate formulas can be applied to calculate instantaneous values for photosynthesis in micromoles of carbon and transpiration in millimoles of water per leaf area unit per second.

## Respiration

Respiration, which is essential for plant survival and growth, consumes carbon. Once the photosynthetic flow of a crop stand is known, the next step is to quantify respiratory losses in order to estimate the amount of carbon available for fruit development, after calculating the carbon balance.

Measuring leaf respiration poses the dual problem of low carbon flow intensity (ten times lower than that of photosynthesis) and the fact that this flow is combined with photosynthesis during the day. Measurements are best taken at night. The measurement method described was first used in Benin, then in Indonesia, and offers the advantage of being simple, reliable and cheap.

The same leaflets are used as for photosynthesis measurements.

## Method

This method uses a "semi-closed system", in which a whole leaflet, still attached to the leaf, is inserted into an appropriately sized airtight PVC<sup>(4)</sup> tube (drainpipe). Successive air samples are taken from the chamber to monitor the increase in the amount of carbon dioxide and evaluate the respiration of the whole leaflet. The chamber is ventilated to prevent the carbon dioxide, which is heavier than air, from stagnating. A temperature sensor is placed inside the chamber.

## Equipment

There is no series of equipment as above, since samples are taken from the chamber without re-introducing the air after analysis in the circuit. It is therefore impossible to take many successive samples: three at the most. The amount of air removed is judged to be negligible in relation to the volume of the chamber, and there is therefore no loss of pressure in the chamber, which might affect carbon dioxide flow. The equipment includes (figure 3):

- an assimilation chamber, specifically adapted for oil palm leaflets, made from a section of PVC drainpipe opaque to sunlight. It is fitted with two fans, a thermistor and an air sampling tube;
- a multimeter to read off the values (in kohm) measured by the thermistor inside the chamber. Temperature can thus be monitored during respiration measurement. This is one of the major factors affecting respiratory flow intensity;
- a rechargeable 12V battery to power the two internal fans;
- a desiccator cartridge identical to those used in photosynthesis measurement, to prevent water vapour interference during measurement;
- a reliable analogue chronometer;

- the carbon dioxide analyser used for photosynthesis, also used in absolute mode.

When the leaflet is placed in the chamber, at reference time  $t_0$ , a first instantaneous reading is taken of the carbon dioxide content in the chamber. After around 3 min ( $t_1$ ), another sample is taken. The carbon dioxide content will have increased, due to leaflet respiration. By an appropriate formula, the respiratory flow of the leaflet, in nanomoles of carbon dioxide per unit of dry matter per second, can be deduced.

The main technical difficulty with this type of measurement is ensuring that the system is airtight without damaging the plant material studied. A rectangle is cut from a block of polystyrene, with a slit through which the leaflet is inserted. This is then slotted into a small opening in the side of the pipe and sealed with putty.

## Conclusion

These techniques have already been transferred to Benin and Indonesia. At least two people are needed to carry out the measurements.

The two techniques, which are currently being used to study oil palm leaf gas exchanges, have the major advantage of being usable on material *in situ*, directly at the plantation. They are quick (once the equipment has been set up, each measurement takes 2 to 3 min), reliable and above all non-destructive. These simple techniques are effective and provide the perfect answer to the increased need for data with the development of production simulation models based on knowledge of the physiological functioning of crops.

These measurements can also be used in the nursery as selection criteria in breeding programmes. The measurement chambers are adapted to the size of the plant material, but the measurement principle and instruments remain the same. ■

(4) Polyvinyl chloride.



# Palma aceitera: medidas de la fotosíntesis y de la respiración

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France

El carbono es el carburante de la vida vegetal. Durante el día, las hojas absorben el gas carbónico del aire: con la energía luminosa, los tejidos clorofilicos lo transforman, por vía bioquímica, en materia vegetal: es la fotosíntesis. Por la noche (y también de día), las hojas respiran y liberan gas carbónico. La intensidad de estos intercambios gaseosos es muy significativa de la actividad fisiológica de una población vegetal. Así, al nivel de la planta completa, la producción de un agrosistema puede relacionarse con las entradas y salidas de carbono. La medida de la fotosíntesis y de la respiración foliar *in situ* traen cuantificaciones necesarias a este balance carbonado (figura 1).

## La fotosíntesis

Los agrofitólogos saben medir con precisión, en el mismo sitio, la fotosíntesis de los cultivos anuales y perennes con un analizador de infrarrojo portátil. Este último da instantáneamente el contenido de gas carbónico de una muestra de aire tomada en un recinto que contiene el vegetal estudiado o una parte de este mismo.

Para la palma aceitera, los agrofitólogos del CIRAD-CP<sup>(1)</sup> llevaron a cabo relevantes campañas de medidas en Costa de Marfil, en Benin y en Indonesia. Para caracterizar un cruzamiento dado, la muestra consta de por lo general ocho palmas. Para conseguir los valores máximos, las medidas se realizan siempre en la hoja de rango nueve.

## El método

El método llamado de «sistema abierto» consiste en encerrar una porción de foliolo en un recinto (cámara de asimilación) y hacer circular en éste una capacidad constante de aire tomada en el exterior (Dufrène, 1989)<sup>(2)</sup>. Al final del circuito, con el analizador se mide pormenorizadamente la baja de concentración de la porción de vege-

tal. Si la cámara de asimilación posee captadores de humedad de temperatura, se pueden cuantificar los intercambios de agua entre la atmósfera y el vegetal y conocer simultáneamente la transpiración de éste último.

## El dispositivo

Consta de los siguientes aparatos (figura 2) colocados en serie cerca de la palma estudiada:

- un tubo de toma de muestra de aire que entra en el circuito, colocado a unos 10 m, donde la concentración de gas carbónico es estable;
- un primer cartucho de desecante (facultativo) que permite, en las zonas muy húmedas por la mañana, no introducir, en el circuito, un aire ya saturado de vapor de agua;
- na bomba alimentada por pila (9-12V) que propulsa una capacidad regular de aire en el circuito;
- un medidor de capacidad de flotador, colocado antes de la cámara de asimilación, que controla a cada momento la capacidad de aire del sistema;
- una cámara de asimilación o «pinza» de tipo PLNC (*Parkinson leaf chamber for narrow material*, ADC)<sup>(3)</sup> que contiene una porción de limbo. Aquí el foliolo no llena más que la mitad de la cámara, puesto que se excluye el nervio que, muy grueso, ocasionaría salidas de aire al nivel de la junta de la cámara;
- un indispensable segundo cartucho de desecante (perclorato de magnesio) a la salida de la cámara para secar completamente el aire antes de su entrada en el analizador y, de este modo, evitar la entrada de vapor de agua cuyo espectro de absorción en el infrarrojo recubre parcialmente el del gas carbónico;
- el analizador IRGA (*Infrared gas analyser*) modelo LCA2 (*Leaf chamber analyser*) de ADC, que se utiliza en modo absoluto. El aire soplado por la bomba exterior penetra en el analizador con una capacidad por lo menos igual a 200 ml/min. La lectura del contenido de gas carbónico de ppm del aire que proviene de la cámara de asimilación es inmediata. El aire analizado se evacua luego mediante el analizador;
- el tubo de conexión neumática de hule inerte al gas carbónico (diámetro 5 mm).

El conjunto del dispositivo se coloca protegido contra la radiación, salvo la pinza, claro está (foto).

Para la medida de la fotosíntesis, se estabiliza el régimen de aire en el sistema entre 12 y 18 h, antes de leer las condiciones iniciales de contenido de gas carbónico, de humedad relativa y de temperatura. Entonces se coloca la porción de limbo estudiada en la pinza orientada perpendicularmente a la radiación. Se espera el equilibrio y se leen las nuevas condiciones de gas carbónico, de humedad y de temperatura que reinan en la cámara de asimilación en presencia del vegetal. También se lee el valor de radiación incidente en la pinza.

Al comparar las condiciones iniciales y las que reinan en presencia del limbo, se deducen, merced a fórmulas de cálculo adecuadas, los valores instantáneos de fotosíntesis en micromoles de carbono, así como la transpiración en milimoles de agua por unidad de superficie foliar y por segundo.

## La respiración

La respiración, indispensable a la supervivencia y al desarrollo del vegetal, consume carbono. Cuando se conoce el flujo fotosintético de una población de cultivos, las pérdidas respiratorias deben cuantificarse para permitir, una vez el balance carbonado realizado, estimar la cantidad de carbono eventualmente disponible para el desarrollo de los frutos.

La medida de la respiración foliar plantea el doble problema de la baja intensidad del flujo carbonado (diez veces más bajo que el de la fotosíntesis) y aquel de la mezcla de este flujo con la fotosíntesis en fase diurna. Las medidas se realizan preferentemente por la noche. El método de medida descrito fue recientemente utilizado en Benin, y luego en Indonesia. Presenta la ventaja de ser sencillo, fiable y poco costoso.

Se seleccionan los mismos folíolos que para las medidas de fotosíntesis

## El método

En este método de tipo «sistema semicerrado», se coloca un foliolo entero, siempre en su sitio en la palma, en un cilindro de PVC<sup>(4)</sup> (canalón) hermético con dimensiones adecuadas. Merced a tomas de muestras sucesivas de aire en la cámara, se vigilará el aumento del gas carbónico en la cámara y así se podrá estimar la respiración instantánea del foliolo entero. Se ventila la cámara para impedir el estancamiento del gas carbónico más pesado que el aire. En el interior

(1) Departamento de cultivos perennes del *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement*.

(2) Dufrène E., 1989. Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.). Mesure des échanges gazeux. Thèse de Docteur en Sciences, spécialité écologie végétale, université Paris XI, Orsay, France, p. 33-39.

(3) *Analytical Development Company*.

(4) Cloruro de polivinilo.

del recinto se coloca un captador de temperatura (termistancia).

### El dispositivo

Aquí, no hay dispositivo en serie como previamente, puesto que se toman exactamente las muestras en la cámara, sin que el aire se vuelva a colocar en ésta después de análisis. Por lo tanto se pueden realizar muchas tomas de muestras unas a continuación de otras; se limitan a tres. Se considera como despreciable la cantidad de aire tomada en comparación con el volumen de la cámara. Por lo tanto no hay fenómeno de depresión en el recinto que pueda intervenir sobre el flujo del gas carbónico. El dispositivo consta de los siguientes elementos (figura 3):

- la cámara de asimilación está adaptada específicamente a los folíolos de palma aceitera. Realizada a partir de un descenso de canalón de PVC, el recinto es ópaco a las radiaciones. Está provista de dos ventiladores, de una termistancia, así como de un tubo de toma de muestra de aire;
- el multímetro permite leer las señales (en kohm) dadas por la termistancia interior de la cámara. Se puede seguir la evolución de la temperatura durante la medida de la respiración. Este factor es uno de los más

influyentes sobre la intensidad del flujo respiratorio;

- una batería recargable 12V que sirve a alimentar los dos ventiladores interiores;
- se utiliza un cartucho de desecante, idéntico a los descritos para la medida de la fotosíntesis, para evitar las interferencias con el vapor de agua durante la medida;
- un cronómetro fiable, de agujas;
- el analizador de gas carbónico empleado para la fotosíntesis también se utiliza en modo absoluto.

Durante la introducción del folíolo en el recinto, al tiempo de referencia  $t_0$ , se realiza una primera lectura instantánea del contenido de gas carbónico del recinto. Después de unos 3 min ( $t_1$ ) se realiza una nueva toma de muestras. El contenido de gas carbónico incrementó, debido a la respiración del folíolo. De ello se deduce, merced a una formulación adaptada, el flujo respiratorio del folíolo en manómoles de gas carbónico por unidad de materia seca y por segundo.

El punto técnico más espinoso de este tipo de medida es asegurar el cierre hermético del sistema sin estropear el material vegetal estudiado. Se recorta en poliestireno un paralelepípedo provisto de una raja que permite introducir el folíolo. Este elemento se adapta en una pequeña abertura realizada en uno de los lados del

canalón. Se logra el cierre hermético al taponar el todo con masilla flexible.

### Conclusión

Se realizaron ya transferencias técnicas en Benin y en Indonesia. Requieren un mínimo de dos personas.

Estas dos técnicas de medidas, ahora utilizadas para el estudio de los intercambios gaseosos foliares de la palma aceitera, presentan la gran ventaja de poder realizarse sobre material *in situ*, directamente en la plantación. Se trata de métodos rápidos (una vez el dispositivo instalado, cada medida requiere 2 a 3 min) fiables y, sobre todo, no destructoras. En la perspectiva del desarrollo de los modelos de simulación de producción apoyándose en el conocimiento del funcionamiento fisiológico de los cultivos, estas técnicas sencillas dan resultados sobresalientes y responden perfectamente a las necesidades incrementadas de datos en este ámbito.

Estas medidas pueden también examinarse, a partir de la fase vivero, como criterios de selección en los programas de mejoramiento. Las cámaras de medida se adaptan entonces al tamaño del material vegetal, el principio de las medidas y las herramientas siguen siendo los mismos. ■